

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Pneumatické multiplikátory

Pneumatic multipliers

Student:

Marek Směja

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Směja**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Pneumatické multiplikátory**
Pneumatic Multipliers

Zásady pro vypracování:

- 1) Popište funkci a konstrukce pneumatických a pneumo-hydraulických multiplikátorů.
- 2) Uveďte aplikace a zapojení multiplikátorů do obvodu.
- 3) Pro vybraný případ navrhnete multiplikátor.
- 4) Změřte charakteristiky vybraného multiplikátoru.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.
BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 pp. ISBN 978-3-540-69470-0
KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0
Návod k obsluze a údržbě – Multiplikátor VBA. Dostupné z [www](http://www.smc.cz/) < <http://www.smc.cz/>>
Katalogy a firemní podklady SMC, Festo, Stránský a Petržík a další.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Datum zadání: 17.02.2014
Datum odevzdání: 19.05.2014




doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Opavě 14.5.2014.....


.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Opavě: 14.5.2014

.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Marek Směja
Adresa trvalého pobytu autora práce: Luční 16, Opava – Malé Hoštice, 747 05

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SMĚJA, M. *Pneumatické multiplikátory: bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2014, 41 s. Vedoucí práce: Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá obecně multiplikátory, ovšem je zaměřená zejména na pneumatické multiplikátory. V úvodu jsou základní informace o multiplikátorech, jejich dělení dle konstrukce a popis funkce, výhody a nevýhody pneumatických a hydraulických multiplikátorů. Součástí popisu jsou i názorné obrázky. Dalším bodem v bakalářské práci je použití zesilovačů v praxi. V závěru práce je praktická ukázka volby a výpočtu obvodu s multiplikátorem. Na konci práce je zaznamenáno měření ze školní laboratoře, včetně porovnání charakteristik z katalogu výrobce.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SMĚJA, M. *Pneumatic multipliers: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, 2014, 41 p. Thesis head: Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

The bachelor thesis deals with the general multipliers, however, is focused just on pneumatic multipliers. In the introduction, basic information about leveraging their division by a description of the design features, advantages and disadvantages of pneumatic and hydraulic multipliers. Part of the description are illustrative pictures. Another point in the thesis is the use of amplifiers in practice. In the end, there is a practical demonstration of choice and calculation of the multiplier circuit. At the end of the work reported measurements of school laboratories, including a comparison of the characteristics of the manufacturer's catalog.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	7
Úvod	9
1. Funkce a konstrukce multiplikátorů	10
1.1 Funkce.....	10
1.2 Rozdělení.....	10
1.2.1 Přímočarý motor s jednostrannou pístnicí	10
1.2.2 Multiplikátor s jednočinným pístem.....	11
1.2.3 Multiplikátor s dvojčinným pístem.....	12
1.2.4 Multiplikátor s tepelnou izolací	14
1.3 Konstrukce multiplikátorů.....	14
1.3.1 Pneumatické multiplikátory	14
1.3.2 Pneumo-hydraulické multiplikátory	16
1.3.3 Hydraulické multiplikátory.....	19
1.3.4 Speciální zesilovače pro řízení rozváděčů.....	19
2 Aplikace multiplikátorů	19
2.1 Typy použití multiplikátorů	20
2.1.1 Zesílení po celou dobu.....	20
2.1.2 Zesílení na krátký čas	20
2.2 Zapojení multiplikátorů do obvodu.....	21
2.2.1 Multiplikátor se vzdušníkem	21
2.2.2 Multiplikátor uprostřed obvodu.....	21
2.3 Příklady zapojení do obvodu.....	21
2.3.1 Zapojení pro úsporu energie a nákladů.....	21
2.3.2 Zapojení pro naplnění vzdušníku v krátkém čase	22
2.3.3 Zapojení, pokud je nutno použít válec malých rozměrů	22
2.3.4 Zapojení, pokud je nutné zvýšit tlak v jedné z komor válce	23
2.4 Provoz a údržba multiplikátorů	23
3 Návrh obvodu s multiplikátorem.....	24
3.1 Volba pneumomotoru.....	24
3.1.1 Schéma pneumatického obvodu	26
3.2 Volba multiplikátoru	27
3.3 Volba vzdušníku.....	30
4 Experimentální ověření charakteristik multiplikátoru.....	33
5 Závěr.....	39
6 Seznam použité literatury	41

Seznam použitých značek a symbolů

0P1 – zdroj tlakového vzduchu

0V1 – 3/2 rozváděč, ovládaný elektro-pneumaticky

0Z1 – jednotka na úpravu vzduchu

1A1 – přímočarý pneumatický motor

1V1 – 5/2 rozváděč, ovládaný elektro-pneumaticky

1V2 – blok škrťacího ventilu se zpětným ventilem

1V3 – jednosměrný ventil

1V4 – 3/2 rozváděč, ovládaný pneumaticky

1Z1 – filtr s odlučovačem kondenzátu

1Z2 – multiplikátor

1Z3 – vzdušník

1Z4 – filtr s odlučovačem kondenzátu

ANR – zkratka pro normální technické podmínky

C – počet pneumatických válců [1]

D – průměr pístu [mm]

F – působící síla [N]

F_1 – maximální lisovací síla [N]

K – koeficient udávající pracovní cyklus multiplikátoru [1]

L – pracovní zdvih multiplikátoru [mm]

Q – okamžitá spotřeba stlačeného vzduchu [Ndm^3/min]

Q_1 – naměřený průtok před vstupem do multiplikátoru [m^3/s]

Q_{1n} – spočtený průtok před vstupem do multiplikátoru [dm^3/min]

Q_2 – naměřený průtok na výstupu z multiplikátoru [m^3/s]

Q_{2n} – spočtený průtok na výstupu z multiplikátoru [dm^3/min]

Q_b – průtok na výstupu [Ndm^3/min]

$Q_{\text{měř}}$ – naměřený průtok [m^3/s]

Q_{xn} – vypočtený průtok [dm^3/min]

S_1 – plocha pístu [mm^2]

S_2 – plocha mezikruží (píst-pístnice) [mm^2]

S_3 – plocha pístnice [mm^2]

T – čas plnění vzdušníku [s]

T_c – čas, po který se píst pohybuje [s]
 T_k – kalibrační teplota pro průtokoměry [$^{\circ}\text{C}$]
 T_s – čas, po který se píst nepohybuje [s]
 V – objem vzdušníku [dm^3]
 V_1 – objem prostoru válce před pístem [m^3]
 V_2 – objem prostoru válce za pístem [m^3]
 $V_{c\text{-mp}}$ – celková spotřeba vzduchu pro jeden pracovní cyklus s použitím multiplikátoru [m^3]
 $V_{c\text{-sp}}$ – rozdíl spotřeb vzduchu při použití multiplikátoru a velkého válce [m^3]
 $V_{c\text{-spn}}$ – náklady navíc na výrobu vzduchu při použití velkého válce [Kč/den]
 V_{mp} – spotřeba vzduchu multiplikátoru [m^3]
 $V_{\text{pm-v}}$ – spotřeba vzduchu válce při vysouvání pístnice [m^3]
 $V_{\text{pm-z}}$ – spotřeba vzduchu válce při zasouvání pístnice [m^3]
 V_u – ušetřený objem vzduchu při jednom pracovním cyklu válce [m^3]
 $V_{u,\text{den}}$ – ušetřené peníze na výrobu vzduchu za den [Kč/den]
 W – rychlost pohybu pístu [m/s]
 p – tlak vzduchu [MPa]
 p_1 – vstupní tlak do multiplikátoru [MPa]
 p_2 – výstupní tlak z multiplikátoru [MPa]
 p_3 – výstupní tlak z multiplikátoru [MPa]
 p_{abs} – absolutní tlak [MPa]
 $p_{\text{měř}}$ – kalibrační tlak pro průtokoměry [MPa]
 p_n – atmosférický tlak při normálních technických podmínkách [MPa]
 s_{pr} – maximální čas pracovního zdvihu [s]
 s_v – čas, po který zůstane pístnice vysunutá [s]
 s_z – maximální doba zasouvání pístnice [s]
 t – charakteristika doby zvýšení tlaku [1]
 $t_{\text{měř}}$ – kalibrační teplota pro průtokoměry [K]
 t_n – teplota vzduchu při normálních technických podmínkách [K]
 t_{nC} – teplota vzduchu při normálních technických podmínkách [K]
 π – Ludolfovo číslo (3,14) [1]

Úvod

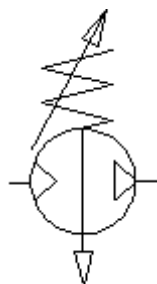
Tématem této bakalářské práce jsou pneumatické multiplikátory, resp. pneumo-hydraulické multiplikátory (dále jen multiplikátory). Pojem multiplikace znamená v překladu násobení, zesílení, rozmnožení. Zařízení multiplikátor má v pneumatice a hydraulice jeden důležitý úkol a to zesilovat tlak na výstupu. Na trhu je v dnešní době několik typů multiplikátorů a každý typ se hodí k určitému typu operace. Nejčastější zesílení (poměr tlaku na vstupu, k tlaku na výstupu) je 1:2, 1:3, 1:5 až 1:1000, ovšem výjimkou nejsou ani multiplikátory s jiným převodovým poměrem dle požadavku zákazníka.

Cílem bakalářské práce je seznámení se s problematikou multiplikátorů, neboť tyto prvky v pneumatických a hydraulických obvodech nemůžeme zanedbávat. Tyto prvky jsou často jediným možným způsobem, jak dosáhnout požadovaného vyššího tlaku, protože jiné zařízení jej nedokáže vyvinout nebo by byl jiný způsob velmi neekonomický.

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. V teoretické části se zaměřuji na princip činnosti, dělení multiplikátorů a jejich konstrukce. V praktické části se podíváme, jak se multiplikátory zapojují do obvodů, jejich aplikace v praxi a měření charakteristik.

1. Funkce a konstrukce multiplikátorů

Dle normy ČSN ISO 5598 je multiplikátor definován jako „zařízení určené ke změně parametrů tlakové energie kapaliny při stálém výkonu“. [1]



Obr. 1 – Schématická značka pneumatického multiplikátoru dle normy ČSN ISO 5598 [1]

1.1 Funkce

Jestliže se výkon rovná součinu tlaku a průtoku a zvětšíme-li na vstupu průtok, získáme na výstupu vyšší tlak a naopak. Jestliže však na stranách multiplikátoru (vstupní i výstupní) není jen kapalina, např. olej, voda, ale i vzdušnina, anebo může na jedné, nejčastěji vstupní straně pracovat plyn a na výstupní straně kapalina o vyšším tlaku, hovoříme o tzv. pneumo-hydraulickém multiplikátoru. I když je multiplikátor ve srovnání s ostatními hydraulickými prvky poměrně málo rozšířený, nemůžeme jeho význam zanedbávat. V některých případech může použití multiplikátoru výrazně snížit náklady na provoz hydraulické (pneumatické) soustavy, jindy může být prakticky jediným nebo téměř výhradním řešením. Patří sem ty případy, kdy převážnou většinu času výrobního cyklu pokryjeme běžným hydrogenerátorem určité velikosti nebo tlakem vzduchu v rozvodové síti, ovšem pro poměrně kratší časový úsek potřebujeme tlak podstatně vyšší. Tento způsob se používá např. u lisů, u strojů na tlakové lití, řezání vodním paprskem, apod. Další případ použití multiplikátoru je, že nám běžné zdroje tlaku nestačí, jednoduše neexistují, protože potřebujeme velmi vysoké tlaky. Použití těchto multiplikátorů je např. u zařízení pro vysokotlaké zkoušky hadic, potrubí, nádob, apod. nebo u různých laboratorních zařízení. V popisu konstrukcí a funkcí budu brát v úvahu, že použité médium je kapalina. Multiplikátory se vzdušninou pracují na stejném principu. [2]

1.2 Rozdělení

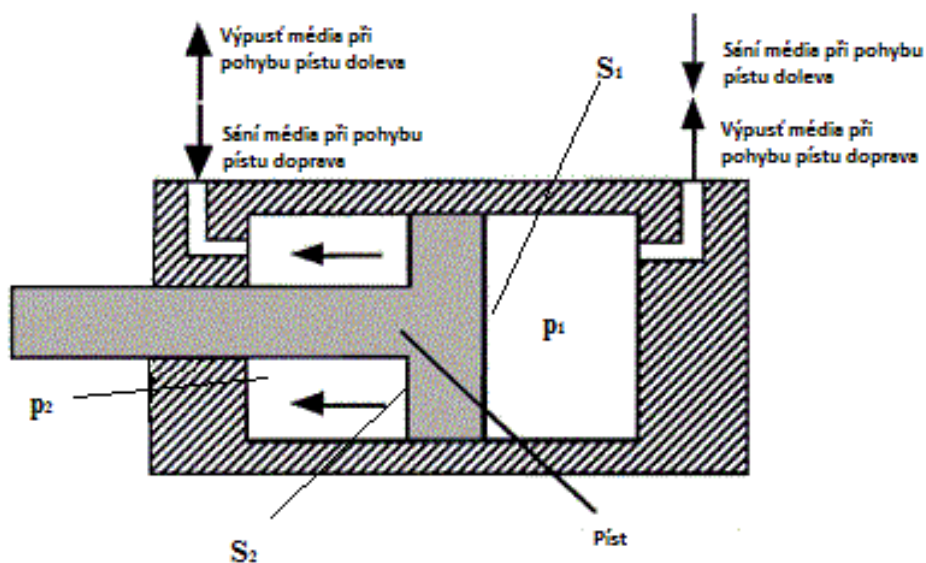
1.2.1 Přímočarý motor s jednostrannou pístnicí

Z konstrukčního hlediska může být nejjednodušším multiplikátorem v podstatě každý přímočarý hydraulický nebo pneumatický motor s jednostrannou pístnicí. Přivedeme-li tlakovou kapalinu na celou plochu pístu, můžeme ze strany s pístnicí

odebírat kapalinu o tlaku zvýšeném v poměru ploch pístu a mezikruží (plocha pístu zmenšená o plochu pístnice). Tato konstrukce umožňuje zesílení pouze při jednom pracovním cyklu motoru, druhý cyklus je pouze vratný, kdy se píst dostává do počáteční polohy. Potřebujeme-li plynulý průtok média o vysokém tlaku, musíme instalovat dvě shodné jednotky řízené pevnou vazbou, např. elektromagneticky ovládaných rozváděčů, které střídavě přivádějí kapalinu o nízkém tlaku před a pro vratný pohyb za píst.[2]

Pokud budeme uvažovat přímočarý motor s jednostrannou pístnicí jako multiplikátor, nebudeme působit na pístnici žádnou silou, protože potřebujeme zesílit jen tlak kapaliny. Síla působící na pístnici by působila proti tlaku působícímu na píst, a tím by bylo celé zařízení neefektivní. Budeme-li uvažovat plochu pístu S_1 , plochu mezikruží S_2 , tlak působící na píst p_1 a tlak, který působí na mezikruží p_2 , spočte se výsledný zesílený tlak pomocí jednoduché rovnice.

$$p_2 = p_1 \frac{S_1}{S_2}$$



Obr. 2 – Schéma přímočarého motoru [3]

1.2.2 Multiplikátor s jednočinným pístem

Při některých druzích zkoušek se využívá tzv. pulsací (např. u zkoušení hadic). Ty se jako důležitý prvek v hydraulických obvodech podrobují předepsanému počtu cyklů, a to v oblasti podstatně vyšších tlaků, než které budou v praxi skutečně přenášet. S vyšším tlakem než ve skutečnosti bude, se pracuje z důvodu garantované bezpečnosti hadic. Zkušební zařízení se pak skládá ze zdroje tlakové kapaliny o běžném tlaku, tj. z běžného typizovaného hydrogenerátoru a rozváděče, který v předepsaném časovém cyklu přivádí

kapalinu před a za nízkotlaký píst multiplikátoru. Tím vznikají tzv. pulsy, které namáhají hadici. [1]

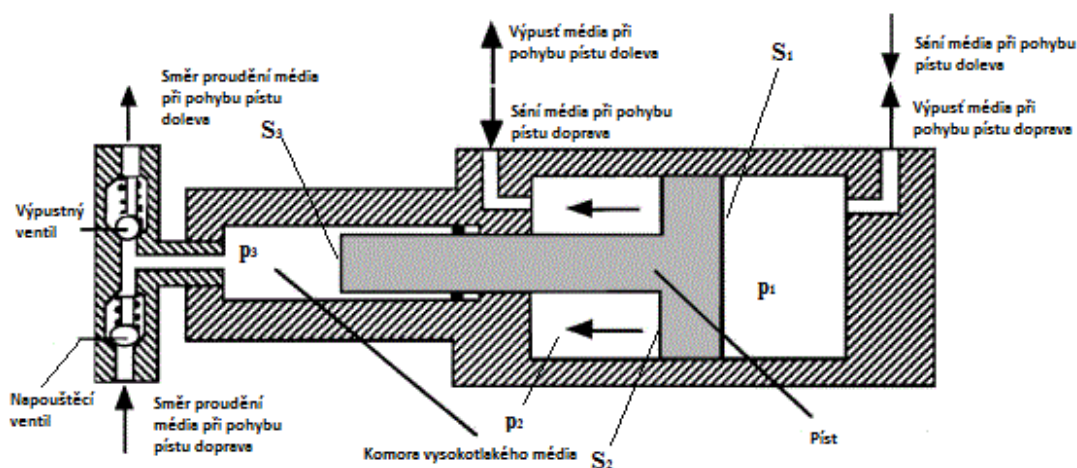
Princip tohoto typu multiplikátoru spočívá v tom, že při pohybu pístu doprava se přes spodní jednosměrný ventil přivede nízkotlaká kapalina. V okamžiku, kdy píst dosáhne konečné polohy, začíná zesilovací cyklus. Píst se pomocí nízkého tlaku začne posouvat doleva a ve vysokotlaké komoře nám generuje vyšší tlak než na vstupu. Takto zesílené médium proudí přes vrchní jednosměrný ventil do požadovaného vysokotlakého okruhu. Tento typ multiplikátoru má primární polohu vodorovnou, ovšem dá se použít i svisle. Má-li však multiplikátor doporučenou polohu vodorovnou, měli bychom ji dodržovat.

Výpočetní vztah je stejný jako u předchozího typu multiplikátoru, ovšem je zde větší poměr ploch, proto i větší zesílení.

Zesílený tlak se vypočítá:

$$p_3 = p_1 \frac{S_1}{S_3}$$

Plocha pístu S_1 , plocha mezikruží S_2 , plocha pístnice S_3 , tlak působící na píst p_1 , na mezikruží p_2 a na pístnici p_3 .



Obr. 3 – Multiplikátor s jednočinným pístem [3]

1.2.3 Multiplikátor s dvojčinným pístem

V dolní části se pohybuje dvojčinný píst, ze kterého vybíhají na obě strany dva vysokotlaké písty. Médium o nízkém tlaku je přiváděno zespod přes jednosměrný ventil. V ten samý okamžik je na opačné straně multiplikátoru vytlačováno médium přes jednosměrný ventil do vysokotlakého potrubí. Jakmile nízkotlaký píst dosáhne krajní

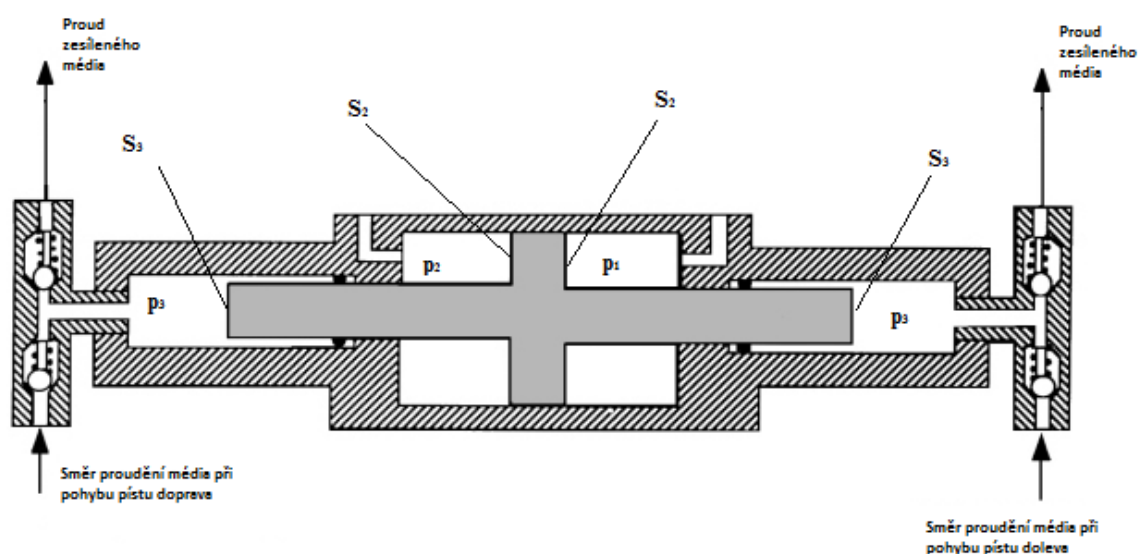
polohy, přestaví se šoupátka, začne se posouvat opačným směrem a cyklus se opakuje, jenže v druhé vysokotlaké komoře. Při úvratích dochází ke krátkému přerušení proudu tlakového média. [1]

U tohoto multiplikátoru je výhoda, že generuje vysoký tlak při obou cyklech, což u multiplikátoru s jednostrannou pístnicí není možné. Tím je tento typ multiplikátoru efektivnější, čemuž odpovídá i vyšší pořizovací hodnota z důvodu větších rozměrů a řídících prvků. Proto je třeba vždy zvážit, který typ je vhodnější pro danou aplikaci. Pokud potřebujeme vysoký tlak po celou dobu, vhodnější je tento typ s dvojčinným pístem, avšak pokud potřebujeme velký tlak jen po krátkou dobu (lisování, nýtování,...) vhodnější je zesilovač s jednočinným pístem.

Výsledný zvýšený tlak se spočte naprosto stejně jako u multiplikátoru s jednočinným pístem.

Při pohybu pístnice směrem doleva se zvýšený tlak spočte:

$$p_3 = p_1 \frac{S_2}{S_3}$$



Obr. 4 – Schéma multiplikátoru s dvojčinným pístem [3]

Kdyby to v některých případech bylo na závadu, můžeme krátkodobý výpadek vysokotlakého média odstranit tím, že do soustavy přidáme akumulátor. Ten kompenzuje tlakový výkyv, který vznikne, když je multiplikátor v krajních polohách a tím nedodává tlak. Tyto multiplikátory se vyrábí v převodních poměrech 1 : 3 až 1 : 7 pro výstupní průtoky 38, 22 a 16 dm³/min. Tento typ multiplikátoru má primární pracovní polohu

vodorovnou a to proto, abychom dosáhli stejného tlaku na výstupu. Pokud bychom totiž použili tento typ svisle, při generování vysokého tlaku, kdy by se píst posouval nahoru, bychom dosáhli menšího tlaku na vysokotlakém výstupu, než při pohybu pístu dolů. Naopak při generování vysokého tlaku, kdy by se píst posouval směrem dolů, by byl na výstupu větší tlak, jelikož by nám vysoký tlak pomáhal generovat píst, resp. jeho hmotnost a hmotnost „vodního“ sloupce kapaliny nad pístem. Proto je vždy žádoucí, aby tento typ multiplikátoru byl ve vodorovné pozici, abychom měli při obou posuvech stejné výstupní tlaky. [1]

1.2.4 Multiplikátor s tepelnou izolací

Pracuje na stejném principu jako multiplikátor s jednočinným pístem. Avšak u tohoto typu je splněn požadavek, aby se vysokotlaké médium, ohřáté na předepsanou teplotu, neochlazovalo nízkotlakým médiem, které má určitou cirkulaci. Válec vysokotlakého média je od nízkotlakého pístu tepelně izolován izolační vložkou. [1]

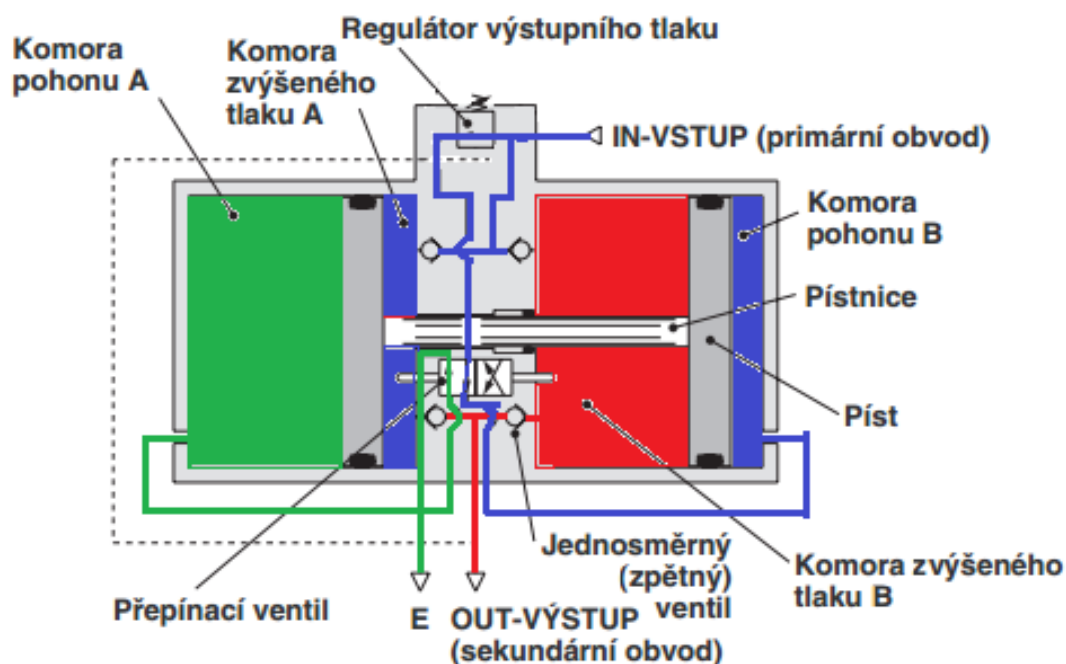
1.3 Konstrukce multiplikátorů

1.3.1 Pneumatické multiplikátory

Pneumatické multiplikátory se používají všude tam, kde v běžném rozvodu stlačeného vzduchu není dostatečně vysoký tlak pro danou aplikaci. Nejčastější typy jsou pneumatické multiplikátory s dvojčinným pístem, ovšem trochu jiné konstrukce, než je uvedeno výše. Standardní zesílené tlaky u většiny výrobců jsou okolo 1,7 MPa, avšak některé společnosti vyrábějí i silnější multiplikátory. Mohou se vyrábět umístěné i přímo na vzdušníku. Součástí prakticky každého zesilovače je regulační ventil na výstupu a manometr. Orientační cena levnějších, ovšem slabších multiplikátorů se pohybuje mezi 10 – 20 tisíci korunami v závislosti na provedení a výrobcí. [4]

Popis funkce:

Pro popis funkce pneumatického multiplikátoru použiji zesilovač od firmy SMC typ VBA10A, protože jeho princip činnosti je velmi jednoduchý a snadno popsatelný. Ve školní laboratoři je sice k dispozici zesilovač, který se dle staršího firemního značení značil EVBA 1110-F02, ale princip činnosti je obdobný jako u VBA10A.



Obr. 5 – Řez zjednodušeným pneumatickým multiplikátorem firmy SMC [5]

Budu uvažovat, že se píst pohybuje zprava doleva. Modrou barvou je znázorněn primární tlak, tedy ten, který je přiváděn ze sítě (popř. z kompresoru). Červenou barvou je naznačen zesílený tlak a zelená barva značí vzduch, který odchází zpoza pístu jako odpad. U odpadu (výstup E) je vždy vhodné dát tlumič hluku.

Pokud se tedy píst pohybuje zprava doleva, plní se primárním tlakem pravá část levé komory a pravá část pravé komory. Tlak z pravé části pravé komory nám posouvá píst doleva a tím, že je plocha mezikruží menší, vzniká vyšší tlak. Vzduch o vyšším tlaku nám proudí přes jednosměrný ventil do hadic či potrubí. Vše pracuje dle fyzikálních vzorců $F = p_1 \cdot S_1 = p_2 \cdot S_2 \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot \frac{S_1}{S_2}$. Tedy v jakém poměru jsou plochy pístů, v takovém poměru jsou i tlaky (pouze v případě že zanedbáme ztráty). Skutečný tlak je vždy menší a klesá čím dál víc v závislosti na průtoku (viz měření). Až dojde pravý píst do konečné úvratě, přestaví přepínací ventil (rozváděč) a cyklus se opakuje, ovšem v opačném směru, tedy zleva doprava. Velikost výstupního tlaku je regulována redukčním ventilem, kterým nastavujeme velikost tlaku vzduchu na vstupu do multiplikátoru.

Výhody:

- Čistě pneumatické – nepotřebují ke svému provozu elektrickou energii, čímž snižují množství generovaného tepla
- Jsou zcela autonomní a po přivedení vstupního tlaku začnou automaticky „vyrábět“ tlak vyšší
- Velmi jednoduchá konstrukce
- Bezpečné – při havárii unikne „pouze“ vzduch, nikoliv nebezpečný olej
- Prakticky v každé firmě je centrální rozvod vzduchu

Nevýhody:

- Nedosahují takových tlaků jako hydraulické, či pneumo-hydraulické, nejčastější zesílení 2x nebo 4x větší než vstupní tlak.



Obr. 6 – Pneumatický multiplikátor řady MVBA firmy Stránský a Petržik [4]

1.3.2 Pneumo-hydraulické multiplikátory

Tyto multiplikátory se používají pro vytvoření vysokého tlaku oleje za použití standardního pneumatického rozvodu. Jsou nejčastějšími typy multiplikátorů v praxi. Kombinují totiž výhody stlačeného vzduchu a kapaliny.

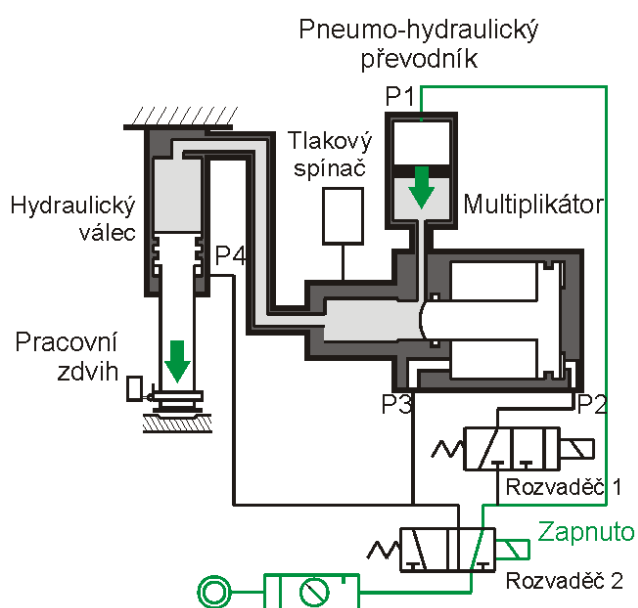


Obr. 7 – Pneumo-hydraulický multiplikátor MHPD firmy Stránský a Petržík [4]

Popis funkce

1. Pomocný zdvih (rychloposuv)

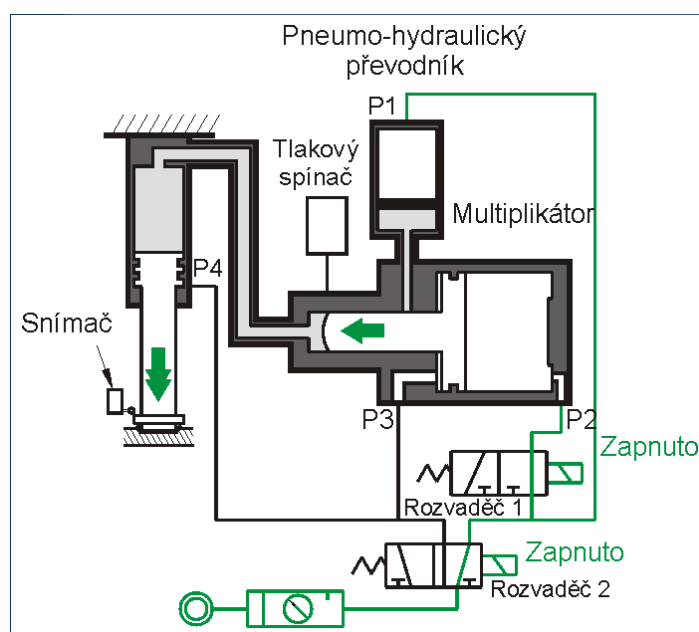
Ve výchozí poloze jsou rozváděče vypnuty a pístní tyč hydraulického válce je zasunuta. Pracovní cyklus začíná tím, že zapneme rozváděč 2 a stlačený vzduch přivedeme do pneumo-hydraulického převodníku se vstupem P1. Tím se začne vyprazdňovat nádoba s olejem a ten začne posouvat pístní tyč v hydraulickém válci a rychle ji vysune (pomocný zdvih, který se používá např. k přibližování k obrobku). Tlak v obvodu odpovídá pouze tlaku stlačeného vzduchu. [4]



Obr. 8 – Popis funkce pneumo-hydraulického multiplikátoru při rychloposuvu [4]

2. Pracovní zdvih

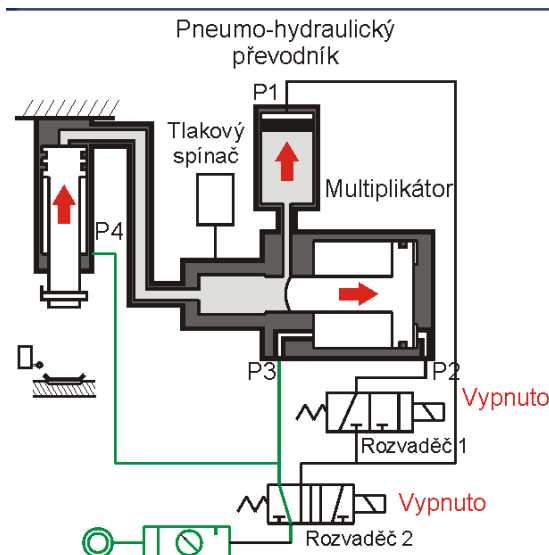
Když je pístní tyč vysunuta a dotkne se obrobku, zapneme rozváděč 1 (tento okamžik je možné řídit např. snímačem). Jakmile se zapne rozváděč 1, stlačený vzduch je přiveden za velký píst pomocí vstupu P2 a píst s plunžrem multiplikátoru se začne posouvat směrem doleva. Při posunutí se zavře přívod oleje z komory pneumo-hydraulického převodníku a díky velkému poměru průměru obou pístů vzroste mnohonásobně tlak oleje. Tento zvýšený tlak působí na pístní tyč a proběhne pracovní zdvih (např. roznýtování). Jakmile je pracovní úkon vykonán (lze použít opět snímač nebo tlakový spínač), může cyklus pokračovat. [4]



Obr. 9 – Schéma pracovního cyklu pneumo-hydraulického multiplikátoru při pracovním zdvihu [4]

3. Zasunutí pístní tyče

Nyní se vypnou oba rozváděče a dojde k návratu pístu multiplikátoru i pístní tyče do počáteční polohy. Olej se automaticky vrátí do nádobky pneumo-hydraulického převodníku. Cyklus se může zopakovat. [4]



Obr. 10 – Schéma pracovního cyklu pneumo-hydraulického multiplikátoru při zasunutí pístní tyče [4]

1.3.3 Hydraulické multiplikátory

Pracují na obdobných principech jako pneumatické. Jejich největší výhodou je jejich zesílení. Díky zanedbatelné stlačitelnosti kapalin, jsou oproti vzduchu mnohem silnější. Vysokotlaká kapalina dosahuje tlaků v řádu až stovek MPa.

1.3.4 Speciální zesilovače pro řízení rozváděčů

Máme-li rozváděč řízený pneumaticky, ale řídicí tlak by nedokázal přestavit šoupátka do druhé polohy, používají se k zesílení řídicího tlaku speciální zesilovače tlaku. Ty se dělí podle stupňů na jednostupňový a dvojestupňový. Oba typy pracují na principu pružné membrány. [6]

2 Aplikace multiplikátorů

Multiplikátory se používají všude tam, kde je potřeba zesílit tlakový vzduch a obyčejný kompresor nám nestačí. Další aplikace je, pokud např. vstupní tlak pro pneumatický válec není dostatečně velký k vyvinutí požadované síly. Tento problém se dá samozřejmě odstranit jiným pneumatickým válcem, ovšem někdy nám z konstrukčních i finančních důvodů nezbyde nic jiného, než použít právě multiplikátor. Poté už záleží pouze na konkrétním použití tohoto prvku, protože v některých případech nám lépe vyhovuje dvojitý, jindy zase jednoduchý. Dále musíme vzít v potaz tlakové

médium. Jak bylo psáno výše, někdy je výhodnější použít vzduch, jindy zase olej, popř. jejich kombinaci. [1]

2.1 Typy použití multiplikátorů

Jak bylo psáno výše, multiplikátor se používá k zesílení tlakové tekutiny. Někdy postačí pouze zesílení v konečné poloze, někdy potřebujeme zesílený tlak po celou dobu pracovního cyklu.

2.1.1 Zesílení po celou dobu pracovního cyklu

Pokud potřebujeme zesílené tlakové médium po celou dobu pracovního cyklu, používají se k těmto účelům dvojčinné multiplikátory nebo skupina dvou a více jednočinných multiplikátorů. Nespornou výhodou dvojčinných zesilovačů je fakt, že generují vyšší tlak v každém směru pohybu pístu, na rozdíl od jednočinného, který pouze v jednom směru. Pokud však zapojíme více jednočinných zesilovačů, můžeme tento hendikep kompenzovat, protože jeden multiplikátor generuje tlakovou kapalinu a druhý se vrací do původní polohy. Takto se oba střídají a generují tak „prakticky“ plynulý vyšší tlak. Slovo prakticky je relativní, protože je vždy jakási prodleva, když první píst dojede do konečné polohy a než začne pracovat druhý píst. Stejný problém je ale i u dvojčinných zesilovačů. Tento problém se většinou kompenzuje přidáním akumulátoru do obvodu, pokud by toto zpoždění bylo na škodu.

Příklady:

- **Vysokotlaká zkoušečka hadic** – při zkoušení hadic a jiných prvků se využívá právě zesilovačů. Musíme zjistit, kolik tyto prvky vydrží, než prasknou. Zkouší se tak, že nám zesilovač přivádí vysokotlaké médium dovnitř prvku a pomocí manometru měříme tlaky. Toto měření může být zdlouhavé, a proto se používají multiplikátory, které zesilují na delší čas.
- **Upínací zařízení** – pokud potřebujeme upínat velkou silou např. obrobky

2.1.2 Zesílení na krátký čas

Pokud potřebujeme pouze krátkodobé zesílení tlakové kapaliny, používají se nejčastěji jednočinné multiplikátory. Musíme však vzít v potaz to, že každý zesilovač má pouze určitý zdvih a tedy pokud chceme zesílení na určitý čas, ale na poměrně velkou vzdálenost, musíme k tomu použít vhodný zesilovač. Pokud takový neexistuje, musíme zvážit, zdali se vyplatí zadat výrobcí zakázku na výrobu atypického multiplikátoru, či raději použít více jednočinných resp. dvojčinných.

Příklady:

- **Nůžky na plech** - pro přibližování k obrobku se používá klasická tlaková kapalina, když ovšem nůž dojde do určité vzdálenosti od obrobku, přestaví se rozváděč a začne pracovat zesilovač, který nám zesíleným tlakem přestřihne materiál
- **Nýtovačky** - stejný princip jako u nůžek
- **Lisy** - stejný princip jako u nůžek

2.2 Zapojení multiplikátorů do obvodu

2.2.1 Multiplikátor se vzdušníkem

Multiplikátory mají více druhů použití a tím pádem i více druhu zapojení. Velmi častým způsobem je zapojení přímo na vzdušník, jelikož firmy zabývající se výrobou těchto prvků nabízejí ve své nabídce přímo vzdušníky s multiplikátory. V tomto případě je potom zapojení jednoduché, kdy pouze připojíme hadice na příslušné vstupy a výstupy z multiplikátoru. Vzdušník omezuje pulsaci tlaku na výstupu z multiplikátoru a slouží jako zásobník vzduchu při krátkodobém zvýšeném odběru.



Obr. 11 – Multiplikátor se vzdušníkem SMC VBTA 38 [5]

2.2.2 Multiplikátor uprostřed obvodu

Tohoto zapojení se používá např. u zesílení na krátký čas. Nejdříve používáme vzduch z rozvodné sítě a v případě potřeby se přestaví rozváděč, vzduch začne procházet přes multiplikátor, který začne vytvářet vyšší tlak.

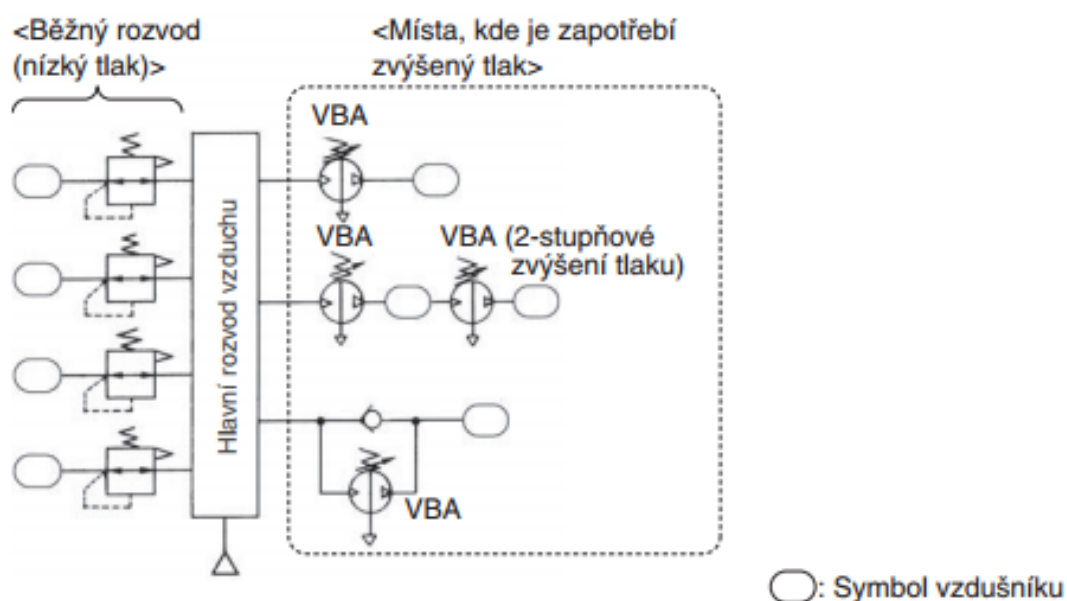
2.3 Příklady zapojení do obvodu

2.3.1 Zapojení pro úsporu energie a nákladů

Zapojení může být:

- Jednostupňové - v tomto případě použijeme pouze jeden zesilovač.
- Dvoustupňové – v takovém případě použijeme dva zesilovače v sériovém zapojení

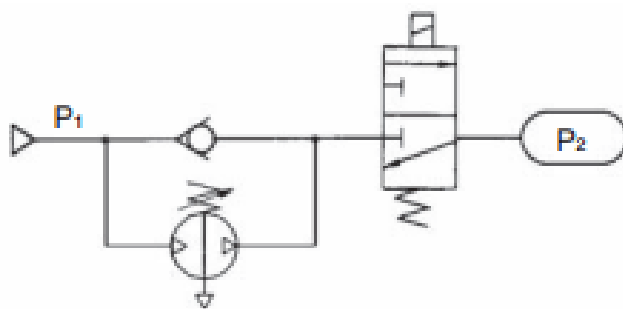
- Jednostupňové s paralelním jednosměrným ventilem – viz kapitola 2.3.2



Obr. 12 – Zapojení multiplikátoru pro úsporu energie a nákladů [5]

2.3.2 Zapojení pro naplnění vzdušníku v krátkém čase

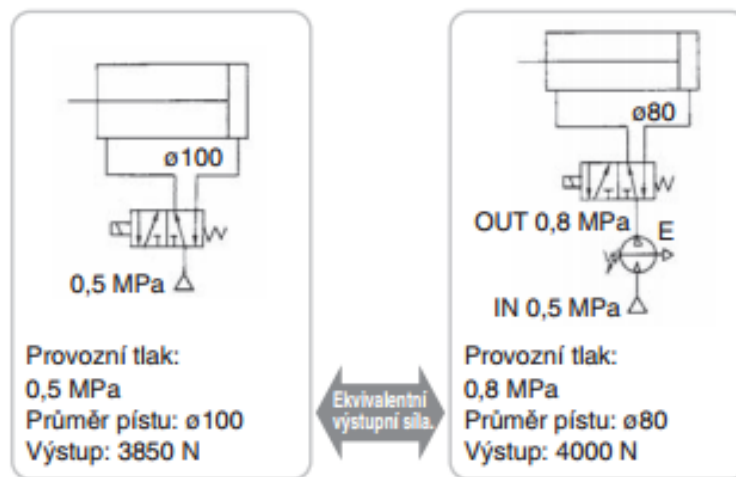
Vzduch na vstupu o tlaku p_1 projde přes zpětný ventil a naplní rychle vzdušník p_2 . Při naplnění je $p_1=p_2$. Až poté se použije multiplikátor, který naplní vzdušník na námi požadovaný tlak.



Obr. 13 – Zapojení multiplikátoru pro naplnění vzdušníku v krátkém čase [5]

2.3.3 Zapojení, pokud je nutno použít válec menších rozměrů

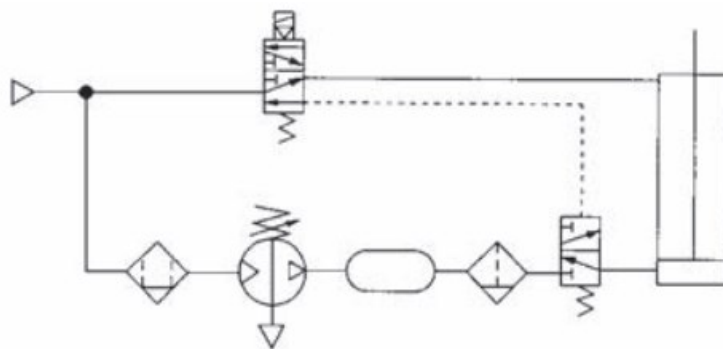
Někdy nám z konstrukčního hlediska není dovoleno použít válec větších rozměrů, ale přesto potřebujeme k jeho práci určitý tlak. Právě k tomuto zapojení se používají také multiplikátory. Praktický výpočet je uveden v kapitole 3.



Obr. 14 – Zapojení multiplikátoru pokud musíme použít válec menších rozměrů [5]

2.3.4 Zapojení, pokud je nutné zvýšit tlak v jedné z komor válce

Toto zapojení se používá tam, kde potřebujeme vyšší tlak, např. pouze při vysunutí pístnice, ovšem k zasunutí nám stačí stlačený vzduch o normálním tlaku.



Obr. 15 – Zapojení multiplikátoru pokud chceme zvýšit tlak v jedné komoře válce [5]

2.4 Provoz a údržba multiplikátorů

- K redukci hluku se doporučuje tlumič hluku nebo filtr s redukcí hluku
- Šroubení se dotahuje v rozsahu příslušných utahovacích momentů
- Před připojením multiplikátoru je žádoucí vyčistit trubky a hadice, aby nezpůsobily poruchu nebo snížení životnosti
- Multiplikátor používat pouze v rozsahu provozních podmínek
- Vždy dodržovat bezpečnostní doporučení výrobce
- Pravidelně odpouštět kondenzát, aby uvnitř nevznikala koroze

3 Návrh obvodu s multiplikátorem

V této kapitole bude předvedena volba multiplikátoru na praktickém příkladu. Jedná se o návrh pneumatického systému lisu, kdy je třeba vyvinout požadovanou sílu po celou dobu vysouvání pístnice, ta krátce setrvá ve vysunuté poloze a poté se bez zatížení vrací do základní polohy.

Po dohodě s vedoucím práce byly stanoveny následující parametry systému:

Maximální lisovací síla $F = 6200 \text{ N}$

Zdvih pístu $L = 250 \text{ mm}$

Maximální čas pracovního zdvihu $s_{pr} = 1,5 \text{ s}$

Čas, po který zůstane pístnice vysunutá $s_v = 2 \text{ s}$

Maximální doba zasouvání pístnice $s_z = 2 \text{ s}$

Celý pracovní cyklus se opakuje každých 10 sekund. Zasouvání může být realizováno sníženým tlakem (pro zasunutí stačí tlak 0,25 MPa). Tlak v rozvodné síti může kolísat mezi 0,5 – 0,6 MPa.

3.1 Volba pneumomotoru

Provedu výpočet plochy pro extrémní případ, tedy kdy je tlak v rozvodu na spodní hranici čili 0,5 MPa a pístnice je zatížena maximální silou 6200 N.

Tlak $p_1 = 0,5 \text{ MPa}$

Tlak $p_2 = 0 \text{ MPa}$

$$p_1 \cdot S_1 = p_2 \cdot S_2 + F$$

↓

$$S_1 = \frac{F}{p_1} = \frac{6200}{0,5 \cdot 10^6} = 0,0124 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0124}{\pi}} = 0,12565 \cong 0,126 \text{ m} = 126 \text{ mm}$$

Z výpočtu vyšlo, že průměr pístu by měl 126 mm, ale z důvodu ztrát třením by musel být píst větší. Dle katalogu výrobců bych zvolil motor s průměrem pístu 160 mm a pístnicí 40 mm. Vzhledem k tomu, že by při průměru pístu 160 mm byly velké zástavbové rozměry, které jsou v tomto případě nežádoucí, zvolím válec s menším průměrem pístu a před pneumomotor vložím multiplikátor, který zvýší tlak na 0,8 MPa.

Tlak $p_1 = 0,8 \text{ MPa}$

Tlak $p_2 = 0 \text{ MPa}$

$$p_1 \cdot S_1 = p_2 \cdot S_2 + F$$

↓

$$S_1 = \frac{F}{p_1} = \frac{6200}{0,8 \cdot 10^6} = 7,75 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,75 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,0993 \cong 0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm}$$

Dle katalogu SMC volím menší pneumomotor než vyšlo ve výpočtu, volím C96SDB100-250. U tohoto motoru je průměr pístu $D = 100 \text{ mm}$, pístnice $d = 25 \text{ mm}$ a zdvih $l = 250 \text{ mm}$.

Plocha pístu

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 100^2}{4} = 7853,98 \cong 7854 \text{ mm}^2$$

Plocha mezikruží

$$S_2 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (100^2 - 25^2)}{4} = 7363,11 \cong 7363 \text{ mm}^2$$

Skutečný minimální potřebný tlak:

$D = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$

$F = 6200 \text{ N}$

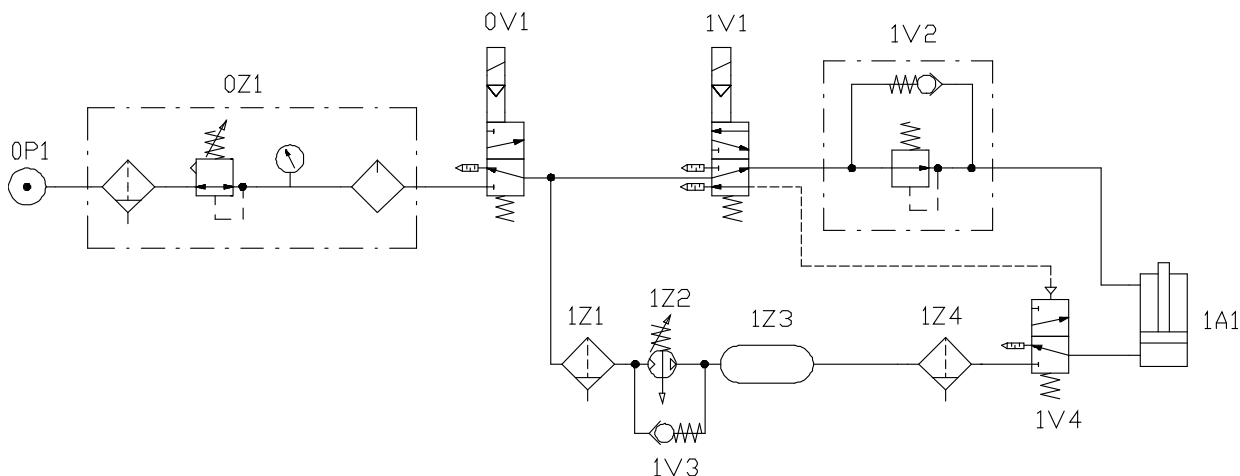
$p_2 = 0$

$$\begin{aligned} p_1 \cdot S_1 &= p_2 \cdot S_2 + F \Rightarrow p_1 = \frac{p_2 \cdot S_2 + F}{S_1} = \frac{p_2 \cdot S_2 + F}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \frac{6200}{\frac{\pi \cdot 0,1^2}{4}} \\ &= 789408,518 \text{ Pa} = 0,789 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pozn.: Vzhledem ke ztrátám třením bude minimální potřebný tlak vyšší, budu uvažovat, že bude $0,82 \text{ MPa}$.

3.1.1 Schéma pneumatického obvodu

Před volbou multiplikátoru je třeba znát potřebné prvky a skladbu pneumatického obvodu. Dle výše uvedených požadavků jsem navrhl obvod, který je znázorněn na obr. 16.



Obr. 16 – Schéma pneumatického obvodu

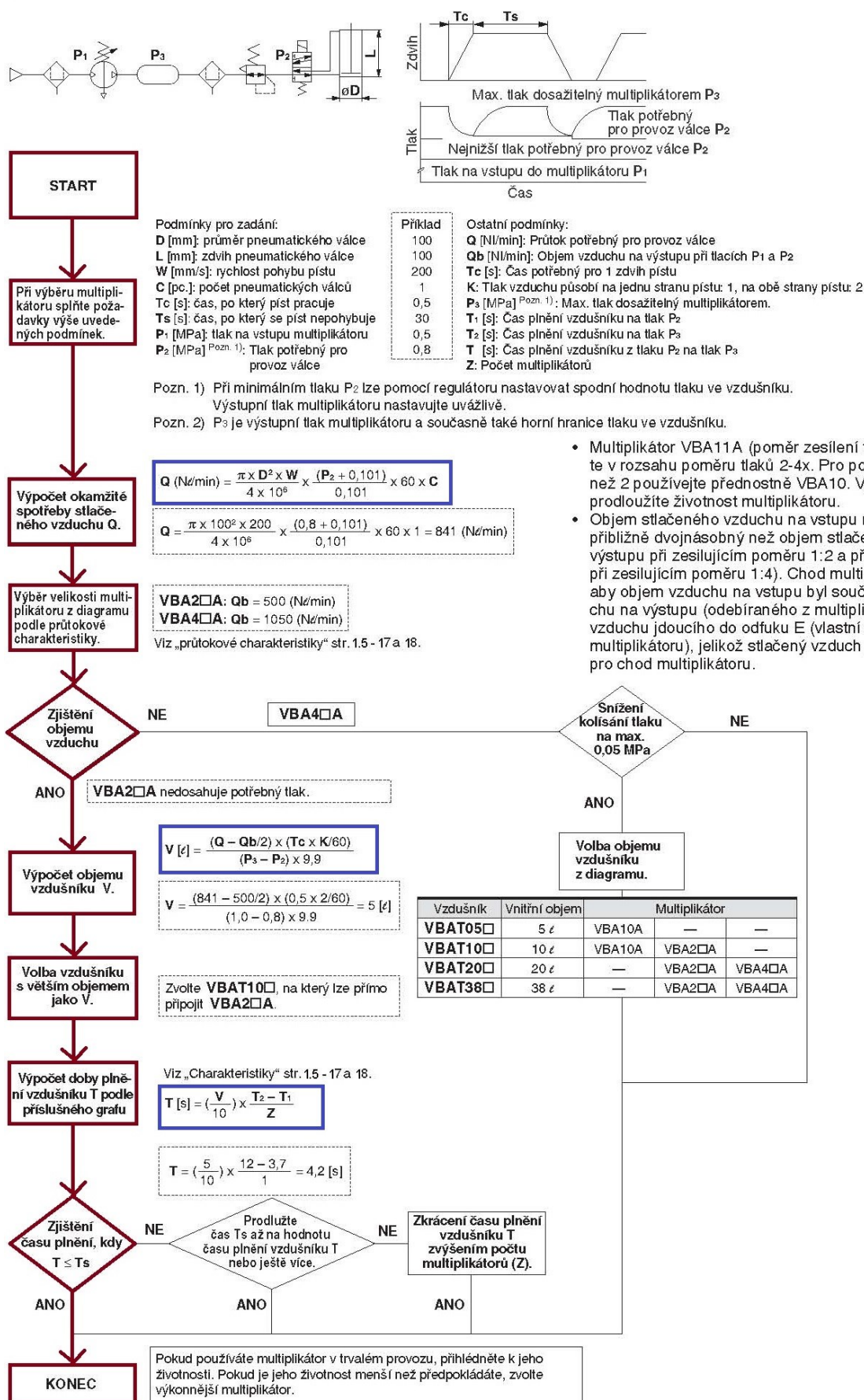
Popis schématu:

Tlakový vzduch odebíraný ze zdroje prochází přes jednotku pro úpravu vzduchu 0Z1 a rozváděč 0V1 dále do obvodu. Tento rozváděč je otevřen trvale, k přestavení do uzavřené polohy a zároveň k odvzdušnění obvodu dojde pouze v případě, že je nutné do systému zasáhnout např. z důvodu údržby. Pokud chceme vysouvat pístnici, pustíme proud na cívku rozváděče 1V1. Tím dojde k přestavení rozváděče 1V4, a tak se otevře cesta do válce. Vzduch jde potom přes filtr s odlučovačem kondenzátu 1Z1, dále přes multiplikátor 1Z2, vzdušník pro vyrovnávání tlakových špiček 1Z3 a další filtr s odlučovačem kondenzátu 1Z4. Přes otevřený rozváděč 1V4 se nám začne plnit pracovní prostor pístu a dojde k vysouvání pístnice. Po dojetí pístnice do koncové polohy a uplynutí doby 2 sekund, se přestaví rozváděč 1V1 do druhé polohy. Po přestavení 1V1 dojde také k přestavení rozváděče 1V4, který bude odvzdušňovat válec. Pomocí redukčního ventilu 1V2 snížíme tlak na požadovaných 0,25 MPa a začne zasouvání pístnice. Po dojetí do koncové polohy a uplynutí 10 sekund se celý cyklus opakuje. Jednosměrný ventil 1V3 slouží k naplnění vzdušníku na tlak v rozvodu. Toto má dvě výhody. Zaprvé při prvním spuštění systému po výluce provozu nemusí multiplikátor tlakovat vzdušník z nulového tlaku. Při tomto pracovním režimu kmitá píst multiplikátoru s vysokou frekvencí, což snižuje jeho životnost. Druhou výhodou je, že při poruše multiplikátoru je zaručena činnost systému alespoň na úrovni tlaku v rozvodu.

Pozn.: Způsob řízení celého systému nebyl v náplni práce.

3.2 Volba multiplikátoru

Multiplikátor se může volit dle zkušeností, ovšem v mém případě použiji vývojový diagram z webových stránek SMC. Na obr. 17 je červeně vyznačen postup volby multiplikátoru a připojeného vzdušníku pro vyrovnění kolísání tlaku v rozvodové síti vlivem odběru. Modře jsou znázorněny použité vzorce. Vzhledem k tomu, že v katalogu označují hodnoty, které byly měřeny za normálních technických podmínek přidáním písmena „N“ před jednotku, budu i já značit výsledky tímto způsobem. Toto značení se bude vyskytovat pouze v této kapitole, v ostatních kapitolách budu značit normální technické podmínky přidáním značky „ANR“ za jednotku.



Obr. 17 – Vývojový diagram volby multiplikátoru SMC [5]

Podmínky pro zadání:

$D = 100 \text{ mm}$ – průměr pístu

$L = 250 \text{ mm}$ - zdvih motoru

$W = 0,2 \text{ m/s} = 200 \text{ mm/s}$ (kvůli dodržení technologie uvažují dobu zdvihu 1,25 s, aby byla alespoň minimální rezerva)

$C = 1$ – počet válců

$T_c = 1,25 \text{ s}$ – doba práce (doba odběru vysokého tlaku)

$T_s = 8,5 \text{ s}$ – doba bez odběru vysokého tlaku (cyklus se opakuje každých 10 s a max. pracovní zdvih je 1,5 s)

$p_1 = 0,5 \text{ MPa}$ – tlak vzduchu v rozvodu

$p_2 = 0,82 \text{ MPa}$ – požadovaný tlak

$K = 1$ (Zvýšený tlak vzduchu působí jen při vysouvání, nikoliv v obou směrech)

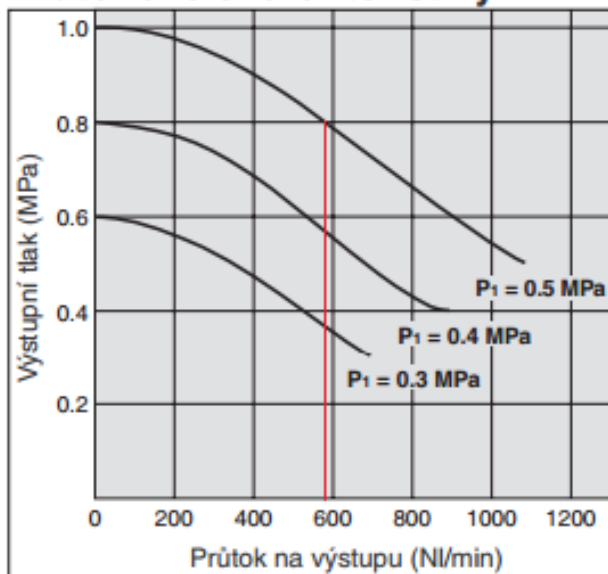
Výpočet okamžité spotřeby stlačeného vzduchu Q

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot W}{4 \cdot 10^6} \cdot \frac{(p_2 + 0,101)}{0,101} \cdot 60 \cdot C = \frac{\pi \cdot 100^2 \cdot 200}{4 \cdot 10^6} \cdot \frac{(0,82 + 0,1)}{0,1} \cdot 60 \cdot 1$$
$$\cong 867 \text{ Ndm}^3/\text{min}$$

Výběr velikosti multiplikátoru z diagramu podle průtokové charakteristiky

VBA20A, 22A

Průtokové charakteristiky



Obr. 18 – Průtokové charakteristiky zesilovače VBA20A a VBA22A [5]

Dle diagramu je průtok na výstupu $Q_b = 550 \text{ Ndm}^3/\text{min}$

3.3 Volba vzdušníku

Výpočet objemu vzdušníku V

$$V = \frac{(Q - \frac{Qb}{2}) \cdot (T_c \cdot \frac{K}{60})}{(p_3 - p_2) \cdot 9,9} = \frac{(867 - \frac{550}{2}) \cdot (1,25 \cdot \frac{1}{60})}{(1 - 0,82) \cdot 9,9} = 6,92 \text{ dm}^3$$

Vzdušník volím 10 dm³, dle katalogu je to označení VBAT10

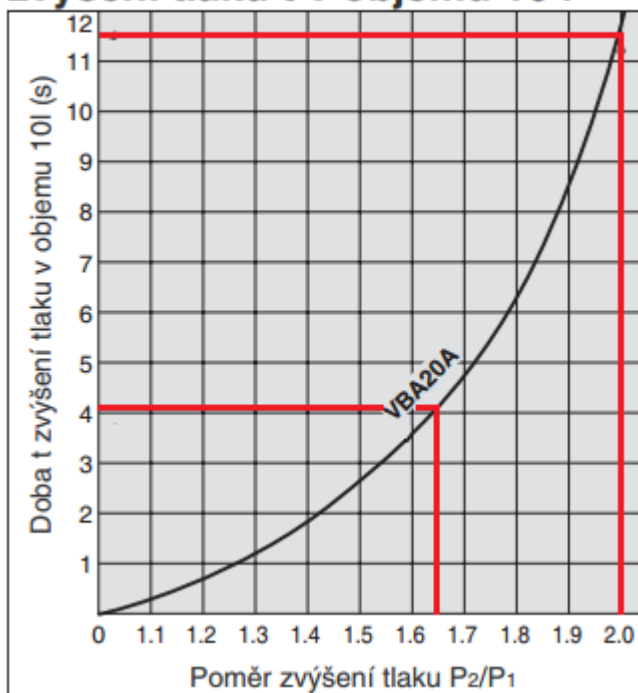
Výpočet doby plnění vzdušníku T podle příslušného grafu

Čas potřebný pro zvýšení tlaku z 0,82 MPa na 1 MPa při vstupním tlaku 0,5 MPa

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{0,82}{0,5} = 1,64$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{0,5} = 2$$

Charakteristika doby zvýšení tlaku t v objemu 10 l



Obr. 19 – Graf pro výpočet času plnění vzdušníku [5]

Z grafu odečteme hodnotu času $t = 11,5 - 4,1 = 7,4$ [s] pro tlakový poměr 1,64 - 2.

$$T = t \cdot \frac{V}{10} = 7,4 \cdot \frac{6,92}{10} = 5,12 \text{ s}$$

$$T = 5,12 \text{ s}$$

$$T_s = 8,5 \text{ s}$$

$$T < T_s$$

Podmínka je splněna, multiplikátor i vzdušník pro daný případ vyhovují.

Výpočet spotřeby vzduchu:

Vzhledem k tomu, že zpětný chod motoru může být řízen sníženým tlakem (0,25 MPa) byl systém navržen tak, že vysoký tlak je používán pouze pro vysouvání pístnice. Toto zapojení je energeticky šetrnější a i multiplikátor bude méně opotřebováván. Snížením tlaku pro návrat až na zmíněných 0,25 MPa dojde k podstatné úspoře vzduchu, nutno však konstatovat, že redukční ventil pouze kompenzuje zvýšené náklady na provoz multiplikátoru. Následující část bude proto věnována rozboru spotřeby vzduchu.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Budeme-li uvažovat, že teploty jsou stejné, potom dostaneme:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Spotřeba vzduchu pro návrat při sníženém tlaku 0,25 MPa

$$V_1 = \frac{p_{abs} \cdot V_2}{p_n} = \frac{p_{abs} \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot L}{p_n} = \frac{0,35 \cdot \frac{\pi \cdot (0,1^2 - 0,025^2)}{4} \cdot 0,25}{0,1} \\ = 0,00643 \text{ Nm}^3$$

$$V_1 = 0,00643 \text{ Nm}^3$$

Spotřeba vzduchu při minimálním tlaku vzduchu v rozvodu 0,5 MPa

$$V_1 = \frac{p_{abs} \cdot V_2}{p_n} = \frac{p_{abs} \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot L}{p_n} = \frac{0,6 \cdot \frac{\pi \cdot (0,1^2 - 0,025^2)}{4} \cdot 0,25}{0,1} = 0,011 \text{ Nm}^3 \\ V_1 = 0,011 \text{ Nm}^3$$

Celkový ušetřený objem vzduchu při jednom pracovním cyklu:

$$V_u = V_1 - V_2 = 0,011 - 0,00643 = 4,57 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^3$$

Pracovní cyklus se opakuje každých 10 sekund, tzn. 6 x za minutu, 360 x za hodinu, 8640 x za den (pokud budeme uvažovat tří směnný provoz).

$$V_{u,den} = V_u \cdot 8640 = 4,57 \cdot 10^{-3} \cdot 8640 \cdot 0,50 = 19,74 \text{ Kč/den}$$

Pokud budeme uvažovat, že 1 m³ stojí 0,50 Kč, ušetříme cca 20 Kč za den.

Úspora vzduchu potažmo nákladů s multiplikátorem vs. pneumomotorem s pístem 160 mm a pístnicí 40 mm.

Pomocí vzorců, které byly použity výše, spočítám spotřebu pro vysouvání 0,82 MPa, zasouvání 0,25 MPa.

Spotřeba s multiplikátorem:

Spotřeba pneumomotoru při vysouvání – tlak 0,82 MPa, píst 100 mm, zdvih 250 mm
 $V_{pm-v} = 0,0181 \text{ Nm}^3$

Spotřeba multiplikátoru - $V_{mp} = 0,018 \text{ Nm}^3$

Spotřeba pneumomotoru při zasouvání – tlak 0,25 MPa, píst 100 mm, pístnice 25 mm, zdvih 250 mm - $V_{pm-z} = 0,00643 \text{ Nm}^3$

Celková spotřeba vzduchu na jeden pracovní cyklus s použitím multiplikátoru:

$$V_{c-mp} = 0,0181 + 0,018 + 0,00643 = 0,04253 \text{ Nm}^3$$

Spotřeba pouze s pneumomotorem

Spotřeba pneumomotoru při vysouvání – tlak 0,6 MPa, píst 160 mm, zdvih 250 mm -
 $V_{pm-v} = 0,035 \text{ Nm}^3$

Spotřeba pneumomotoru při zasouvání – tlak 0,25 MPa, píst 160 mm, pístnice 40 mm, zdvih 250 mm - $V_{pm-z} = 0,016 \text{ Nm}^3$

Celková spotřeba vzduchu na jeden pracovní cyklus s použitím multiplikátoru:

$$V_{c-mp} = 0,035 + 0,016 = 0,051 \text{ Nm}^3$$

Rozdíl spotřeb vzduchu při použití multiplikátoru a většího válce:

$$V_{c-sp} = 0,051 - 0,04253 = 8,47 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^3$$

Pokud budeme uvažovat stejný pracovní den, jako u minulého případu vyjde nám úspora:

$$V_{c-spn} = 8,47 \cdot 10^{-3} \cdot 8640 \cdot 0,5 = 36,59 \text{ Kč/den}$$

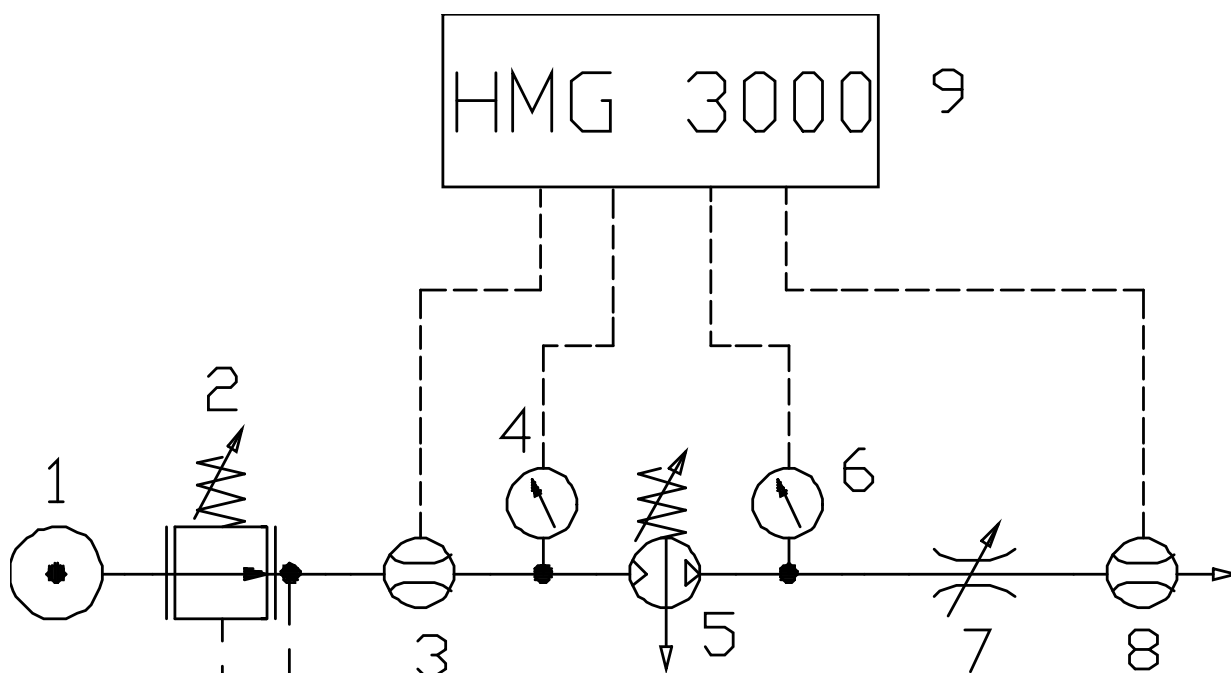
Z vypočtených hodnot jasně vyšlo, že pokud nepotřebujeme vyšší tlak při obou pracovních cyklech, je výhodnější jeden cyklus provádět sníženým tlakem vzduchu. V našem případě úspora činí cca 20 Kč denně.

Pokud bychom spočítali rozdíl nákladů s použitím multiplikátoru a válce s větší velikostí, vyjde nám v tomto případě rozdíl nákladů na výrobu vzduchu cca 37 Kč denně, což znamená ročně úsporu cca 13500 Kč. Musíme však vzít v úvahu i pořizovací hodnotu multiplikátoru a jeho příslušenství, ale pokud bychom multiplikátor používali prakticky pořád, jeho koupě se nám postupem času vyplatí, také vzhledem k tomu, že pneumomotor s většími rozměry bude dražší než pneumomotor s menšími rozměry.

4 Experimentální ověření charakteristik multiplikátoru

V této kapitole bude popsáno experimentální zařízení, postup měření a v závěru porovnány výsledky měření s katalogovými hodnotami.

Schéma měření:



Obr. 20 – Schéma zapojení měřicího obvodu

1 – zdroj stlačeného vzduchu

2 – proporcionální redukční ventil – Festo VPPE-3-1-1/8-10-010-E1, výstupní tlak
0 - 1 MPa

3 – průtokoměr 1 – IFM SD9000, měřicí rozsah 1,3 – 410 Nm³/h

4 – manometr 1 - SMC ISE40-01-62L, měřicí rozsah -0,1 – 1 MPa

5 – multiplikátor – SMC EVBA 1110-F02

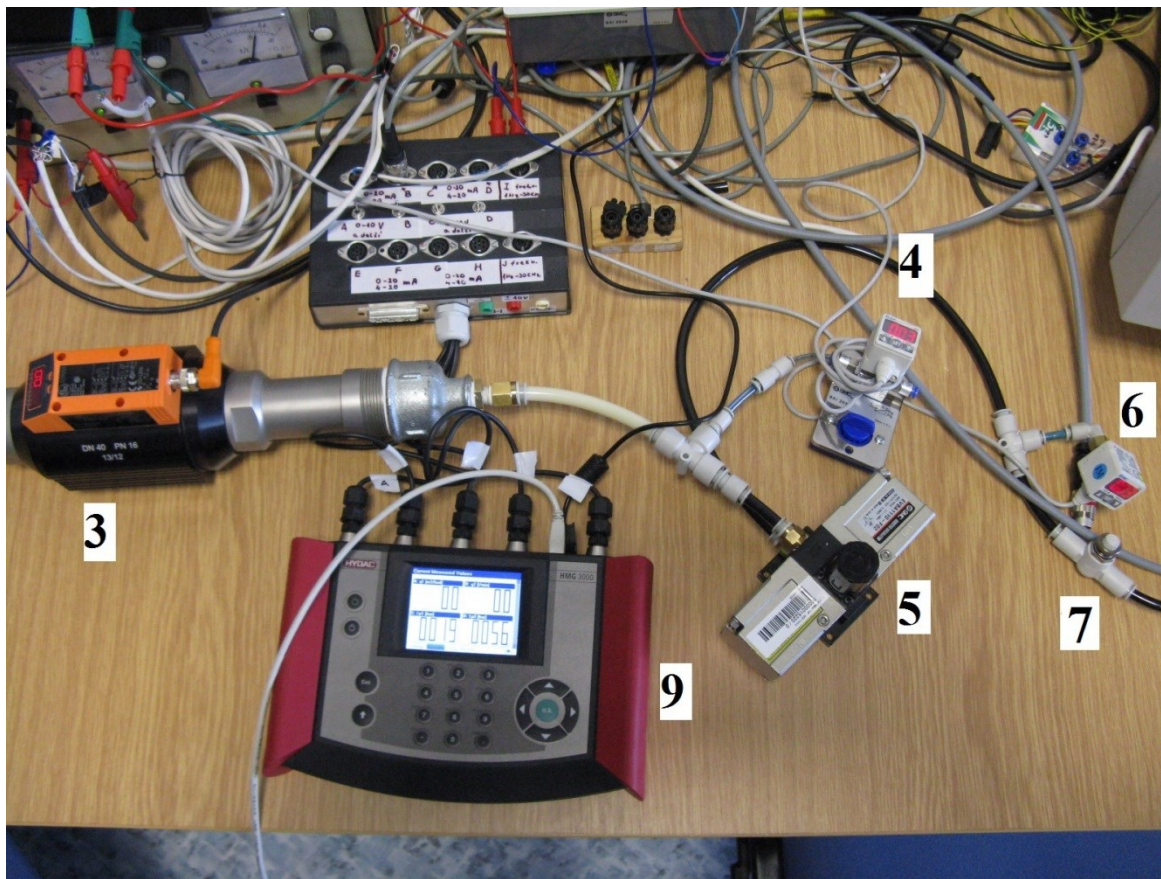
6 – manometr 2 – SMC ISE40-01-62L, měřicí rozsah -0,1 – 1 MPa

7 – škrtkový ventil – SMC AS2002F-06

8 – průtokoměr 2- IFM SD6000, měřicí rozsah 4 – 1250 Ndm³/min

9 - měřicí přístroj – Hydac HMG 3000

Fotografie z měření



Obr. 21 – Fotografie zapojení při měření

Postup měření:

Ze zdroje stlačeného vzduchu (vzdušníku) pustíme přes redukční ventil vzduch do obvodu. Pomocí redukčního ventilu nastavíme $p_1 = 0,3 \text{ MPa}$. Škrtkový ventil je uzavřen. Odečteme hodnoty z přístroje HMG 3000. Poté škrtkový ventil postupně otevíráme a pro každé nastavení škrtkového ventilu pomocí funkce nahrávání v HMG 3000 zapisujeme hodnoty tlaku na vstupu a na výstupu z multiplikátoru a průtoky až do úplného otevření škrtkového ventilu. Postup opakujeme pro hodnotu manometru 1 $p_1 = 0,4 \text{ MPa}$ a $p_1 = 0,5 \text{ MPa}$. Následně všechny hodnoty nahrajeme do počítače a pomocí programů HMGWIN a MS Excel vyhodnotíme měření.

Naměřené a vyhodnocené hodnoty

Protože průtokoměry měří při tlaku $p = 101325 \text{ Pa}$ a teplotě $t = 15^\circ \text{ C}$, musím oba průtoky přepočítat na normální technické podmínky ($p = 100000 \text{ Pa}$, a $t = 20^\circ \text{ C}$). Při přepočtu je třeba dávat pozor na základní jednotky, teplota se dosazuje v Kelvinech.

$$p_{\text{měř}} = 101325 \text{ Pa}, p_n = 100000 \text{ Pa}, t_{\text{měř}} = 288,15 \text{ K}, t_n = 293,15 \text{ K}$$

$$\frac{p_n \cdot Q_n}{T_n} = \frac{p_{m\check{r}} \cdot Q_{m\check{r}}}{T_{m\check{r}}}$$

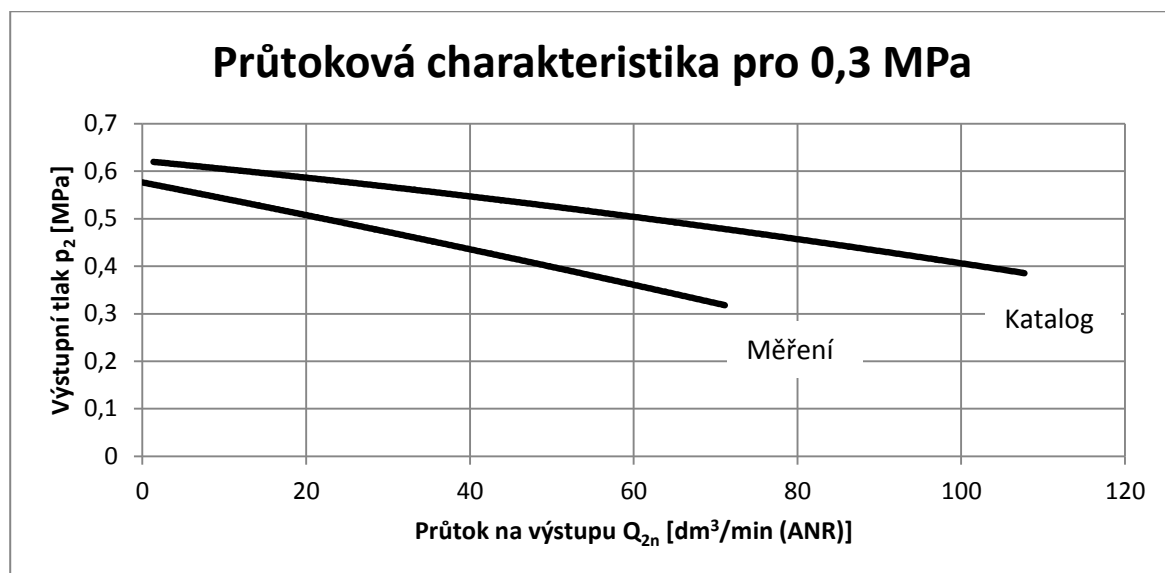
Výsledný vztah:

$$Q_{xn} = Q_{m\check{r}} \cdot \frac{p_{m\check{r}}}{p_n} \cdot \frac{T_n}{T_{m\check{r}}}$$

Nastavený tlak $p_1 = 0,3$ MPa

p_1 [MPa]	p_2 [MPa]	Q_1 [m ³ /s]	Q_2 [m ³ /s]	Q_{1n} [dm ³ /min (ANR)]	Q_{2n} [dm ³ /min (ANR)]
0,3038	0,573	0	0	0	0
0,30377	0,51923	0,00102	0,00032	63,09	19,79
0,3004	0,45576	0,001839	0,000522	113,74	32,29
0,29796	0,37166	0,002643	0,000918	163,47	56,78
0,29586	0,31977	0,003072	0,00115	190	71,13

Tab. 1 – Tabulka hodnot pro tlak 0,3 MPa

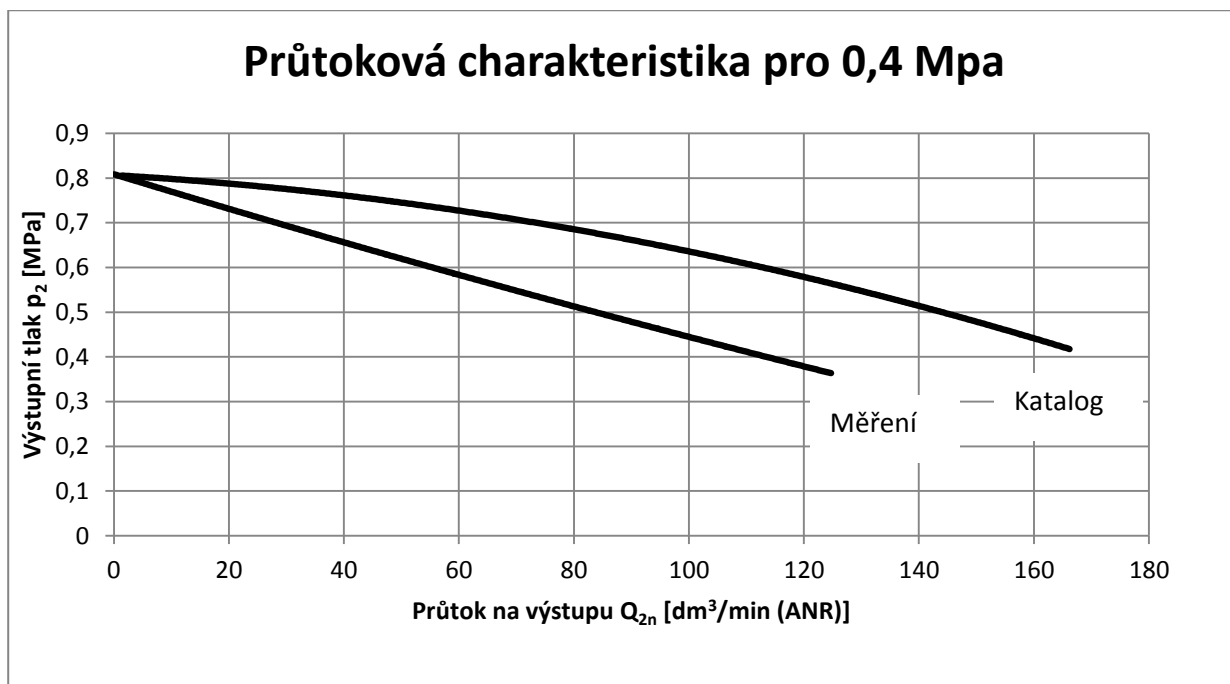


Obr. 22 – Porovnání průtokových charakteristik z měření a katalogu pro 0,3 MPa

Nastavený tlak $p_1 = 0,4$ MPa

p_1 [MPa]	p_2 [MPa]	Q_1 [m ³ /s]	Q_2 [m ³ /s]	Q_{1n} [dm ³ /min (ANR)]	Q_{2n} [dm ³ /min (ANR)]
0,40265	0,8	0	0	0	0
0,40265	0,76442	0,000599	0,000158	37,049	9,77
0,40254	0,74497	0,000937	0,000296	57,95	18,31
0,39982	0,70319	0,001384	0,000458	85,6	28,33
0,39758	0,66337	0,001659	0,000631	102,61	39,03
0,39502	0,56381	0,002994	0,001073	185,18	66,36
0,39284	0,4917	0,003569	0,001324	220,74	81,89
0,39016	0,43805	0,003405	0,001641	210,6	101,5
0,38619	0,36922	0,004079	0,002017	252,29	124,75

Tab. 2 – Tabulka hodnot pro tlak 0,4 MPa

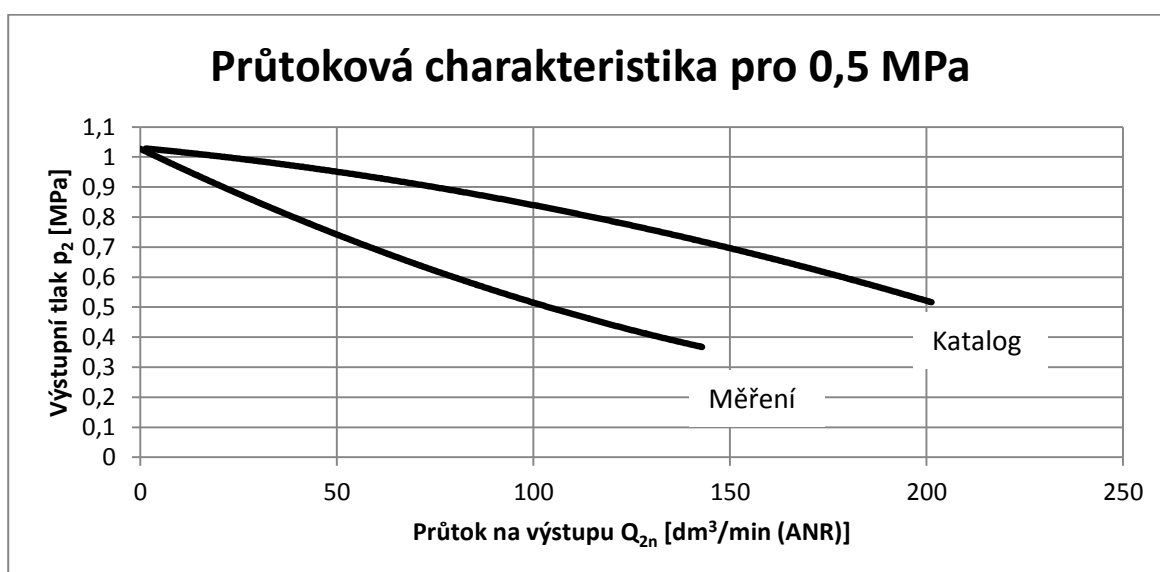


Obr. 23 - Porovnání průtokových charakteristik z měření a katalogu pro 0,4 MPa

Nastavený tlak $p_1 = 0,5$ MPa

p_1 [MPa]	p_2 [MPa]	Q_1 [m³/s]	Q_2 [m³/s]	Q_{1n} [dm³/min (ANR)]	Q_{2n} [dm³/min (ANR)]
0,50012	1,01177	0	0	0	0
0,49621	0,93278	0,001163	0,000305	71,93	18,86
0,46904	0,78661	0,002389	0,00068	147,76	42,06
0,45569	0,70077	0,00317	0,000957	196,06	59,19
0,43087	0,53697	0,00414	0,001437	256,059	88,88
0,44212	0,46549	0,004261	0,001865	263,54	115,35
0,41788	0,36951	0,004596	0,002311	284,26	142,94

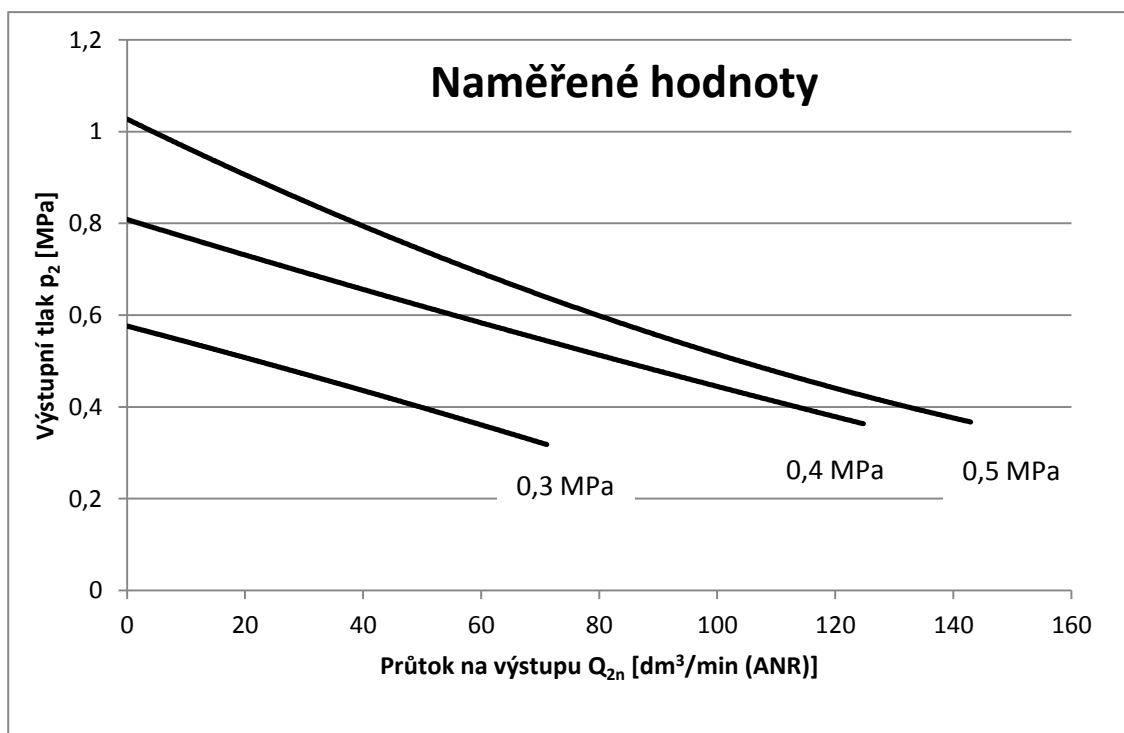
Tab. 3 – Tabulka hodnot pro tlak 0,5 MPa



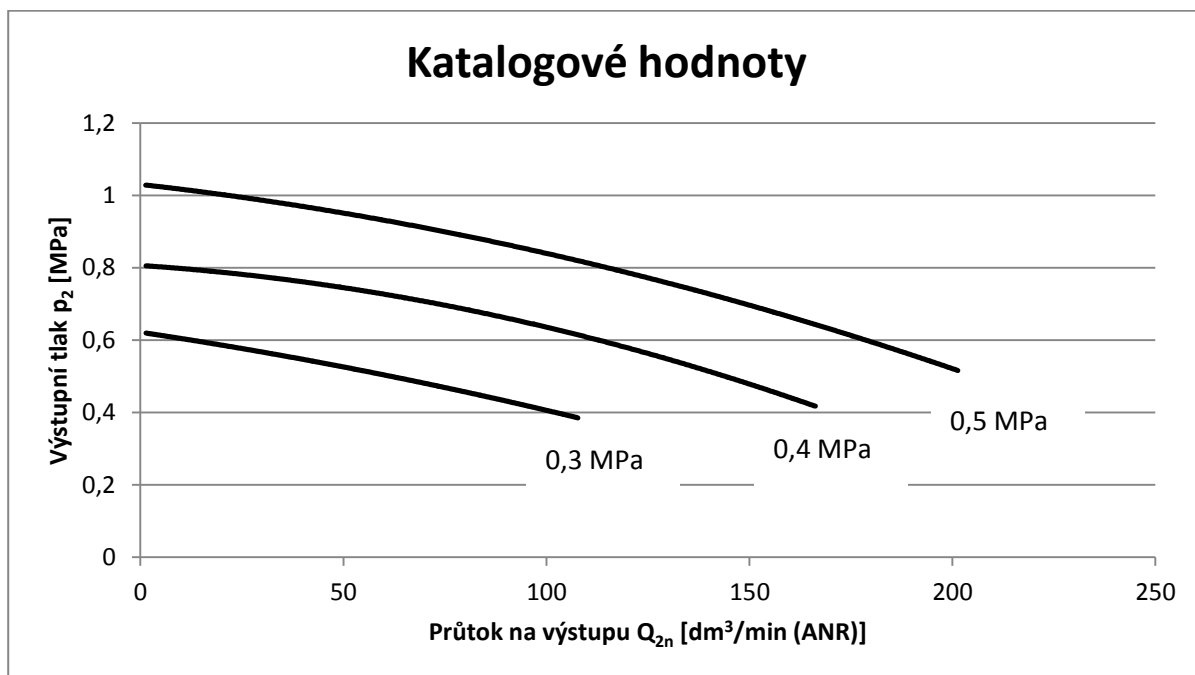
Obr. 24 - Porovnání průtokových charakteristik z měření a katalogu pro 0,5 MPa

Pozn.: **Katalog** u křivky značí graf z katalogových hodnot, poznámka **měření** znamená graf z naměřených hodnot.

Porovnání průtokových charakteristik z naměřených hodnot v jednom grafu



Obr. 25 - Porovnání průtokových charakteristik z měření pro všechny měřené tlaky



Obr. 26 - Porovnání průtokových charakteristik z katalogu pro všechny měřené tlaky [5]

Hodnocení měření:

Jak již bylo psáno, v této kapitole jsem se věnoval měření charakteristik skutečného multiplikátoru. Pomocí vhodných prvků jsme s vedoucím sestrojili měřicí obvod. Díky měřicímu systému HMG 3000 společnosti Hydac bylo možné zapisovat měřené hodnoty do paměti přístroje a následně převést do počítače. Tyto hodnoty jsem dále zpracovával, zejména pomocí tabulkového editoru MS Excel. Všechny naměřené hodnoty jsem zpracoval do formy tabulek a sestrojil grafy pro jednotlivé měřené tlaky, tedy 0,3, 0,4 a 0,5 MPa. Následně jsem díky programu Data Master, který dokáže přečíst z obrázku hodnoty a udělat z nich souřadnice, vytvořil souřadnice skutečných grafů z katalogu výrobce SMC. Hodnoty jsem opět pomocí programu Excel vyhodnotil a hodnoty přidal do již vytvořených grafů pro jednotlivé grafy (obr. 22, 23, 24). Grafy vytvořené pomocí souřadnic získaných z programu Data Master jsou ekvivalentní s grafy v katalogu výrobce. Poté jsem měřené hodnoty vložil do jednoho grafu, stejný postup jsem udělal i s katalogovými hodnotami (obr. 25 a 26). Díky sestrojeným grafům, je zřetelně vidět, jak se liší naměřené hodnoty a hodnoty z katalogu. Katalogové křivky mají jasně konkávní smysl. Křivky 0,3 a 0,4 MPa mají mírně konkávní smysl, ale graf pro 0,5 MPa má spíše konvexní smysl. To je zřejmě způsobeno velkým odběrem stlačeného vzduchu a nedostatečně velkým zdrojem tlakového média. Pro kompenzování těchto výkyvů by byl potřeba větší vzdušník nebo tzv. tvrdý zdroj, který není tak náchylný na velký odběr vzduchu. Výsledek měření je tedy ten, že měřený multiplikátor je zřejmě vadný z výroby nebo se poškodil během používání. Toto tvrzení by bylo možné vyvrátit změřením jiných zesilovačů stejného typu.

5 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala multiplikátory. Multiplikace zjednodušeně znamená zesilování. (multiplikátor = zesilovač). U těchto multiplikátorů to je zesílení tlaku na výstupu oproti tlaku na vstupu. Princip funkce je velmi jednoduchý, funguje na principu výpočtu tlakové síly $F = p \cdot S$. Síla zůstává stejná, mění se jen plocha a tím i tlak.

První konstrukce multiplikátoru je obyčejný hydraulický nebo pneumatický motor, rozlišné plochy jsou způsobeny pístnicí, která na druhé straně pístu zmenšuje plochu. Další konstrukce multiplikátoru je velmi podobná předchozímu typu multiplikátoru, ovšem zvýšený tlak neodebíráme z prostoru za pístem, ale za pístnicí, tento zesilovač se nazývá multiplikátor s jednočinným pístem. Rozdíl ploch je tedy větší než při předchozí konstrukci. Další konstrukce zesilovačů jsou už pouze vylepšené výše uvedené konstrukce multiplikátorů. Např. multiplikátor s dvojčinným pístem pracuje na stejném principu jako multiplikátor s jednočinným pístem, ovšem má pístnici na obou stranách pístu (konstrukce je stejná jako válec s průběžnou pístnicí). Vyšší tlak opět odebíráme z prostoru za pístnicí. Speciální multiplikátory, které musejí vyvinout obrovský tlak, jsou v podstatě několik zjednodušených multiplikátorů řazených za sebou. Tlak se potom násobí úměrně plochám pístů, resp. plochám pístnic.

Multiplikátory se dále dělí podle pracovního média na pneumatické, hydraulické a pneumo-hydraulické. Výjimkou nejsou ani multiplikátory pracující s vodou. Kapaliny použité pro multiplikátory podléhají velmi důkladné filtraci. Velkou výhodou multiplikátorů, které používají pracovní médium vzduch je, že jsou ekologická, což v dnešní době hraje velmi důležitou roli. Využití třeba v potravinářství nebo ve výbušném prostředí. Jejich nevýhodou však je, že nedokáží díky stlačitelnosti vzduchu vyvinout takový tlak jako zesilovače, které používají kapalinu. Pneumo-hydraulické kombinují výhodou obou tlakových médií. Nestlačitelnost kapalin a jednoduchou dodávku vzduchu (ve většině firem je centrální rozvod vzduchu). Hydraulické zesilovače jsou vhodné tam, kde jsou potřebné velké tlaky, popř. menší tlaky, ale velké nároky na co nejmenší zástavbové rozměry (hydraulický zesilovač může být při stejném zesílení až 10x menší než pneumatický). Podrobnější informace jsou popsány v kapitole 1.

Dalším úkolem této práce bylo, sepsat aplikace multiplikátorů a jejich možnosti použití v praxi. Tomuto problému se podrobně věnuje kapitola 3. Vytкну jen pár důležitých odvětví, kde se těchto zařízení používá. Multiplikátorů se hojně využívá při zkoušení hadic, kdy se zjišťuje maximální únosný tlak hadice. Tento způsob měření mi potvrdil i světový výrobce hadic společnost Semperflex. Další aplikací může být nýtovačka nebo různé lisy, kdy je velká část zdvihu řešena pomocí rychloposuvu (nízký

tlak) a konečný cyklus (stříh, lisování) je řešeno právě pomocí zvýšeného tlaku. V neposlední řadě se multiplikátory používají k plnění tlakových lahví.

V další části bakalářské práce (kapitola 3) byl návrh obvodu s multiplikátorem, kdy jsme po dohodě s vedoucím práce stanovili parametry systému. Pomocí vzorců jsem spočetl základní hodnoty, se kterými jsem dále pracoval. Spočetl jsem velikost pístu a zvolil dle katalogu výrobce vhodný přímočarý motor. Dalším krokem bylo spočítat minimální potřebný tlak pro provoz multiplikátoru. K němu se následně připočítala malá rezerva kvůli ztrátám, které by vznikly třením. Pomocí zadaných hodnot, jsem zvolil prvky, které jsem zakreslil do schématu. Pod schématem je i popis funkce celého systému. Nejdůležitějším krokem v této kapitole byla volba multiplikátoru a vzdušníku, který vyrovnává tlakové špičky v rozvodové síti. Zesilovač i vzdušník jsem volil pomocí vývojového diagramu z katalogu firmy SMC. Vzhledem k tomu, že zasouvání pístnice mělo být řešeno sníženým tlakem, musel jsem spočítat také spotřebu vzduchu resp. úsporu oproti zasouvání zvýšeným tlakem.

Poslední kapitola je praktická. S vedoucím práce jsme ve školní laboratoři sestavili měřicí obvod, na kterém jsme měřili školní multiplikátor. Postup i následné zhodnocení je podrobně popsáno v kapitole 4.

6 Seznam použité literatury

- [1] ČSN ISO 5598. *Tekutinové systémy a prvky – Slovník*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [2] PIVOŇKA, Josef a kolektiv. *Tekutinové mechanismy*. 1. Vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987. 624 s.
- [3] *Smu* [online]. c2014, poslední revize 18.11.2000 [cit.2014-30-01]. Dostupné z: <<http://lyle.smu.edu/rcam/research/waterjet/par3.html>>
- [4] *Stránský a Petržík* [online]. c2014, [cit. 2014-13-01]. Dostupné z: <<http://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/pneumaticke-valce/valce-pneu-hydr-menu/>>
- [5] *SMC* [online]. c2014, [cit. 2014-13-01]. Dostupné z: <<http://www.smc.cz/document.asp?id=1469>>
- [6] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanismy díl II. – Řízení pneumatických systémů*. 2. vydání. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005. 94 s. ISBN 80–248–0880-3
- [7] HYNEK, Miroslav. *Tekutinové mechanismy – část A, B*. 1. Vyd. Bratislava: Alfa – vydavatel'stvo technickej a ekonomickej literatúry, 1990. 340 s. ISBN 80-05-00194-0
- [8] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanismy díl I. – Pneumatické prvky a systém*. Dotisk.
- [9] *Hydraulics & Pneumatics* [online]. c2013, poslední revize 9. 6. 2007 [cit. 2013-12-06]. Dostupné z: <<http://hydraulicspneumatics.com/other-technologies/chapter-17-air-oil-systems-intensifiers>>
- [10] *Hydraulics & Pneumatics* [online]. c2013, poslední revize 12. 5. 2009 [cit. 2013-12-06]. Dostupné z: < <http://hydraulicspneumatics.com/other-technologies/book-2-chapter-13-pressure-intensifier-circuits>>
- [11] *Festo* [online]. c2014, [cit. 2014-13-01]. Dostupné z: <http://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DPA_CZ.PDF>
- [12] *Technický týdeník* [online]. c2014, poslední revize 1.1.2006 [cit.2014-13-01]. Dostupné z: <http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/zvysene-uplatneni-tlakovych-lahvi-v-leteckem-prumyslu-klade-vysoke-naroky-na-servis_11275.html>